Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP S.n.c.
Pianificazione tecnica
LEONARDO PITTON

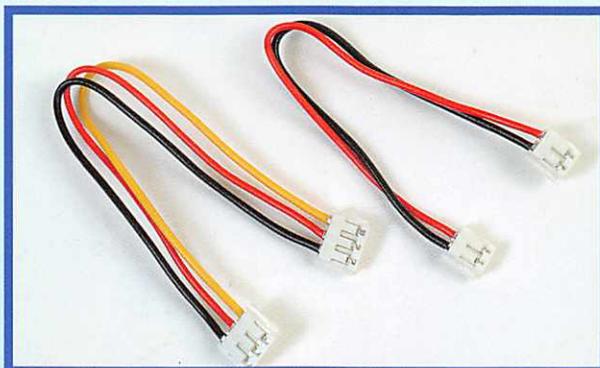
Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, Tel. 02/242021, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1738 del 26/05/2004. Spedizione in abbonamento postale gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963. Stampa: Grafiche Porpora s.r.l., Cernusco S/N (MI). Distribuzione SO.DI.P. S.p.A., Cinisello Balsamo (MI).

"ELETTRONICA DIGITALE"
si compone di
70 fascicoli settimanali
da suddividere
in 2 raccoglitori.

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI. Per ulteriori informazioni, telefonare dal lunedì al venerdì ore 9.30-12.30 all'ufficio arretrati tel. 02/242021. Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione € 3,10 per pacco. Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di € 25,82 e non superiore a € 51,65, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a € 6,20. La spesa sarà di € 9,81 da € 51,65 a € 103,29; di € 12,39 da € 103,29 a € 154,94; di € 14,98 da € 154,94 a € 206,58; di € 16,53 da € 206,58 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di € 0,52, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera. IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

IN REGALO in questo fascicolo

1 Filo giallo flessibile
1 Filo azzurro flessibile

IN REGALO nel prossimo fascicolo

1 Cavetto a due fili con due connettori femmina a due vie
1 Cavetto a tre fili con due connettori femmina a tre vie

COME RACCOGLIERE E SUDDIVIDERE L'OPERA NELLE 4 SEZIONI

L'Opera è composta da 4 sezioni identificabili dalle fasce colorate, come indicato sotto. Le schede di ciascun fascicolo andranno suddivise nelle sezioni indicate e raccolte nell'apposito raccoglitore, che troverai presto in edicola. Per il momento, ti consigliamo di suddividere le sezioni in altrettante cartellette, in attesa di poterle collocare nel raccoglitore. A prima vista, alcuni numeri di pagina ti potranno sembrare ripetuti o sbagliati. Non è così: ciascuno fa parte di sezioni differenti e rispecchia l'ordine secondo cui raccogliere le schede.
Per eventuali domande di tipo tecnico scrivere al seguente indirizzo e-mail: elettronicadigitale@microrobots.it

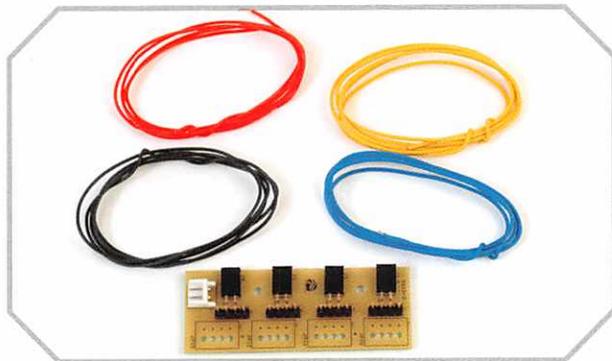
Hardware Montaggio e prove del laboratorio

Digitale di base Esercizi con i circuiti digitali

Digitale avanzato Esercizi con i circuiti sequenziali

Microcontroller Esercizi con i microcontroller

Cablaggio del sistema di collegamento

Fili azzurro e giallo per cablaggio interno.

Il circuito DG12 e i fili che dovranno essere utilizzati.

Con questo fascicolo vengono forniti i fili azzurro e giallo necessari per realizzare il cablaggio del sistema di collegamento.

Il sistema

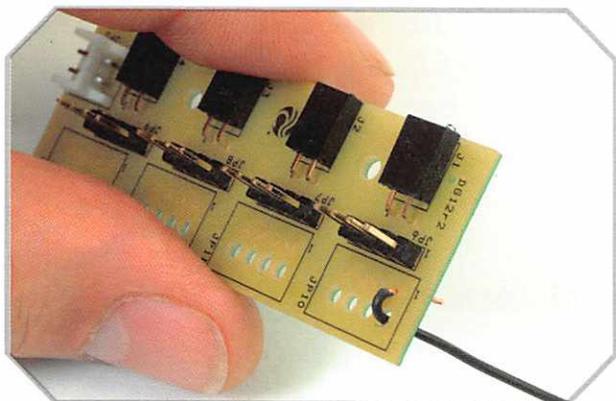
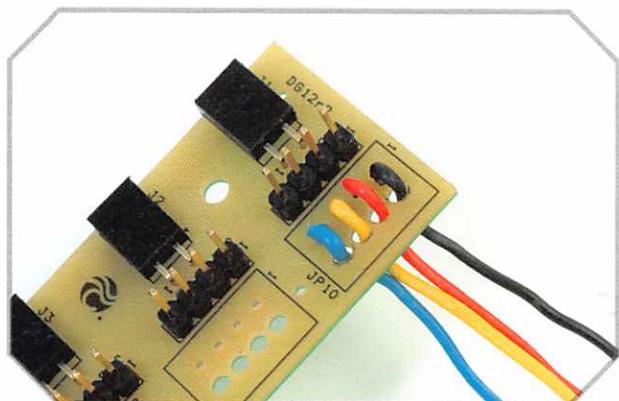
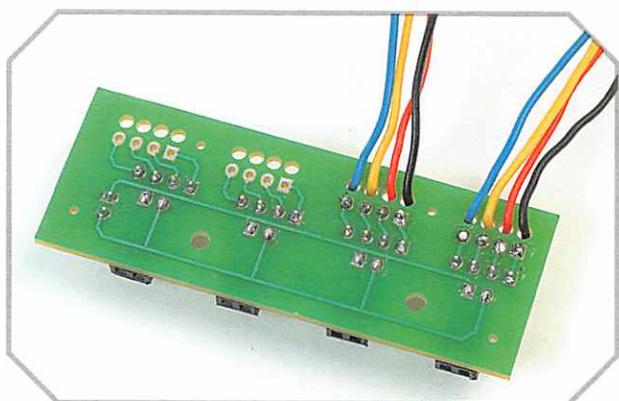
I connettori della scheda DG12 che fuoriescono all'esterno del pannello frontale, indicati da 1 a 16, sono collegati direttamente, uno a uno, alle molle indicate anch'esse da 1 a 16.

Il lavoro per montare i fili di collegamento tra la scheda DG12 e le molle verrà realizzato seguendo un preciso ordine, affinchè ogni filo, oltre a garantire il collegamento, rimanga ordinato, in modo che l'aspetto finale, con tutti i fili collegati, sia anch'esso ordinato.

Preparazione della scheda DG12

La scheda DG12 si smonta dal laboratorio togliendo le due viti che la fissano, senza dimenticare di allentare precedentemente le due che fissano la scheda DG11, essendo questa montata.

Numero	Lunghezza (cm)	Colore	Posizione	Terminale
1	19	Nero	JP10	1
2	17,5	Rosso	JP10	2
3	17	Giallo	JP10	3
4	16	Azzurro	JP10	4
5	13	Nero	JP11	1
6	12	Rosso	JP11	2
7	10,5	Giallo	JP11	3
9	8,5	Azzurro	JP11	4
9	16	Nero	JP12	1
10	15	Rosso	JP12	2
11	13	Giallo	JP12	3
12	11,5	Azzurro	JP12	4
13	10	Nero	JP13	1
14	9	Rosso	JP13	2
15	8	Giallo	JP13	3
16	6	Azzurro	JP13	4

Tabella delle lunghezze del sistema di cablaggio.

Il foro più grande si utilizza per il passaggio del filo, quello piccolo corrisponde alla piazzola sul circuito stampato per saldare l'estremo del filo.

L'ordine di saldatura è il seguente: nero, rosso, giallo, azzurro.

Su JP11 si segue lo stesso ordine; le lunghezze devono corrispondere a quelle della tabella.

Collegamenti a DG12

Osservando la scheda vediamo le quattro zone indicate come JP10, JP11, JP12 e JP13, su ognuna delle quali ci sono otto fori liberi. I fori di diametro maggiore si utilizzano per fissare il filo, compresa la parte isolante, mentre quelli di diametro minore si utilizzano per la saldatura dell'estremo del filo.

Ognuno dei quattro fori di ogni zona è siglato da 1 a 4, ma sulla scheda è riportato solamente il numero 1. Per il numero 1 si utilizza il filo di colore nero, il rosso per il 2, il giallo per il 3 e l'azzurro per il 4.

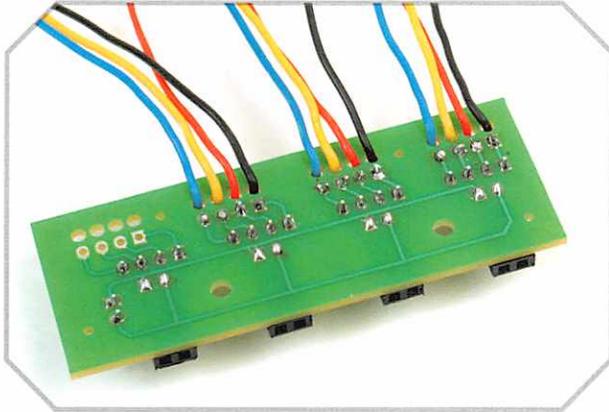
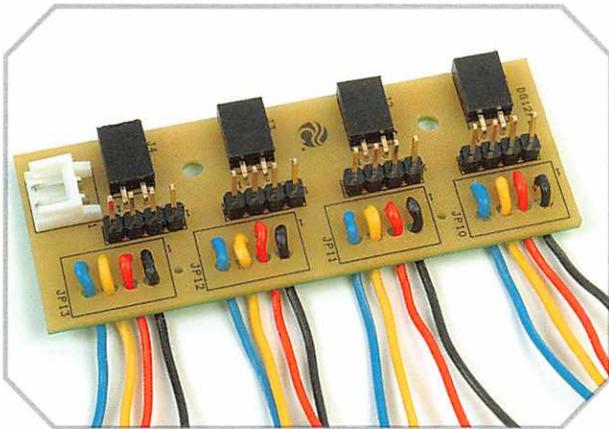
Preparazione dei fili

È necessario preparare 16 fili, ognuno del colore e della lunghezza indicata nella tabella. La lunghezza comprende anche la parte terminale del filo che verrà spelata. Sull'estremo che deve essere saldato alla scheda DG12 si asportano circa 4 mm di isolante, e dal lato della molla circa 10 mm. Entrambi i capi del filo verranno ritorti leggermente in modo che i reofori rimangano allineati. Dobbiamo tagliarli uno a uno o siglarli per evitare di confonderli tra loro al momento della saldatura. Ne servono quattro per ogni colore. Conserveremo la parte rimanente del filo, infatti la utilizzeremo presto.

Collegamenti alla scheda

Iniziamo a saldare i fili sulla scheda DG12. Il primo di questi è di colore nero, ha una lunghezza di 19 cm e si salda sulla posizione 1 di JP10. È consigliabile seguire l'ordine della tabella e, come potete vedere, abbiamo iniziato da un lato della scheda.

L'estremo del filo, spelato per 4 mm, si inserisce sul foro di JP10 più vicino al bordo della scheda. Questo foro dispone di una piazzola di rame dove verrà eseguita la saldatura, dopodiché inseriremo il filo nell'altro foro, in modo da immobilizzarlo ed evitare che si rompa. Possiamo anche passare prima il filo in questo foro, e poi saldarlo.

Dopo aver montato il filo nero si prende quello rosso da 17,5 cm e si salda nella posizione 2 di JP10. Continueremo montando il filo giallo da 17 cm e lo salderemo nella posizione 3 di JP10. Infine, ripeteremo l'operazione con

Punti di collegamento JP10, JP11 e JP12 con i loro fili.

Scheda DG12 con tutti i fili collegati.

un filo azzurro da 16 cm, che va nella posizione 4 di JP10.

Ora abbiamo i fili riferiti a JP10 saldati.

Eseguiremo questa procedura altre tre volte, per saldare i fili su JP11, JP12 E JP13, utilizzando però, per ogni posizione il filo del colore e della lunghezza indicata nella tabella.

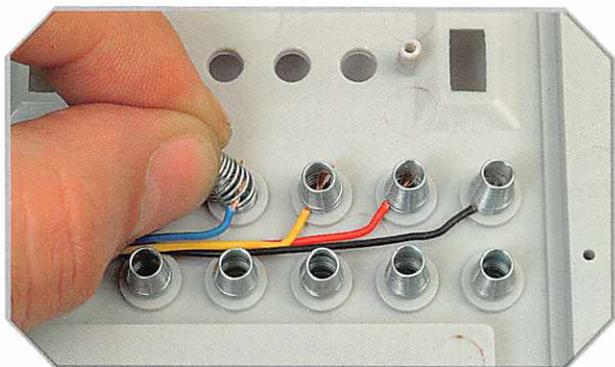
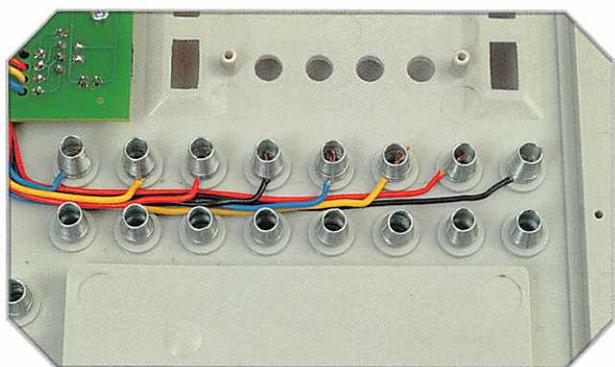
Installazione di DG12

Dopo aver montato i 16 fili sulla scheda, verificheremo che tutto sia stato saldato bene e che ogni filo sia del colore e della lunghezza adeguata. Tenete presente che, essendo stati saldati e piegati, i fili potrebbero risultare leggermente più corti.

Dobbiamo installare nuovamente la scheda DG12, collegandola prima alla DG11 e fissando le due viti su entrambe le schede; è consigliabile inserire due connettori neri, quelli dei cavetti forniti, sui connettori agli estremi di DG12 attraverso il pannello frontale, prima di chiudere le viti, per fare in modo che questa scheda rimanga centrata bene, le viti non devono essere strette eccessivamente. I fili devono uscire nel modo più ordinato possibile verso il lato opposto a DG11.

Collegamenti alle molle

Ogni filo deve essere collegato alla molla corrispondente seguendo il suo ordine numerico. Inizieremo dal filo nero, collegato a DG12, più vicino al bordo superiore del pannello principale, il cui estremo andrà alla molla 1;

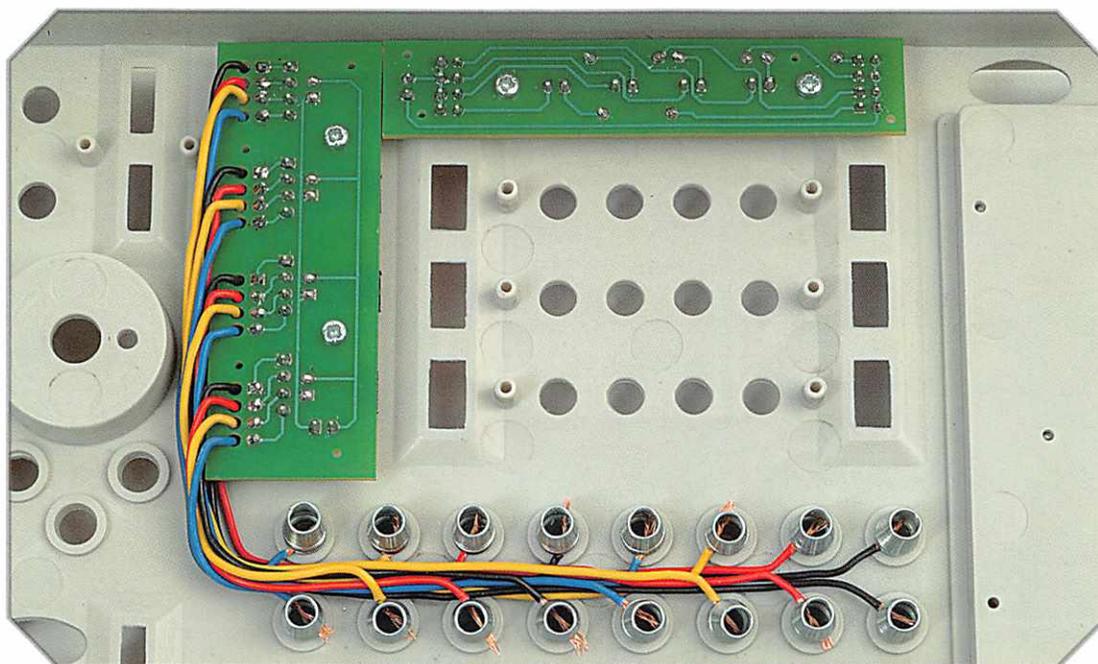
La scheda DG12 si collega alla DG11 e successivamente si fissa con le viti.

Collegamenti dei fili alle molle da 1 a 4. Arrivano da DG10.

I collegamenti delle molle da 5 a 8 arrivano da DG11.

questo collegamento si realizza inclinando prima la molla perché si apra e crei lo spazio tra le due spire per inserire il lato spelato del filo, rilasciando la molla rimarrà fissato. Continueremo estraendo il filo successivo, che dovrà essere di colore rosso e collegato alla molla 2, ricordando di cambiare fila quando si arriva alla molla 8.

I fili fuoriescono dalla scheda DG12 ordinati da 1 a 16. Le molle, invece, sono disposte su due file e si identificano dalla sigla riportata sul pannello frontale.

Verifica

Questo lavoro di cablaggio può apparire a prima vista un po' complicato, tuttavia si deve realizzare in modo ordinato, dato che si tratta di un montaggio definitivo. D'altra parte la sequenza dei colori è sempre la stessa: nero-rosso-giallo-azzurro, questo evita la confusione e l'utilizzo errato di un filo vicino, essendo di un altro colore.

Bisogna tener presente che, capovolgendo il laboratorio, la molla 1 rimane situata a destra, come la molla 9 che è la prima della seconda fila. Per ottenere un buon cablaggio conviene "pettinare" bene i cavi, in modo da lasciarli fissati sulle molle nella posizione definitiva.

Interno del laboratorio con il suo cablaggio.

Porta AND a 3 ingressi

Con questo esercizio verificheremo come si ottiene una porta AND a tre ingressi a partire da quattro porte NAND a due ingressi. Vedremo anche come utilizzare un transistor per aumentare la corrente di uscita.

Il circuito

Lo schema del circuito sembra complicato dato che sono rappresentati i cavetti di collegamento, i quattro LED e le resistenze da R1 a R4 del circuito DG11 montato sul laboratorio. I LED sono collegati in parallelo uniti nel seguente modo: gli anodi sono collegati direttamente tra di loro e i catodi lo sono dopo le resistenze di limitazione di corrente.

I quattro LED si collegano sul circuito di collettore di un transistor NPN, il quale conduce quando sulla sua base si inietta una corrente sufficiente; in questo caso si utilizza una resistenza di base R8 da 4K7.

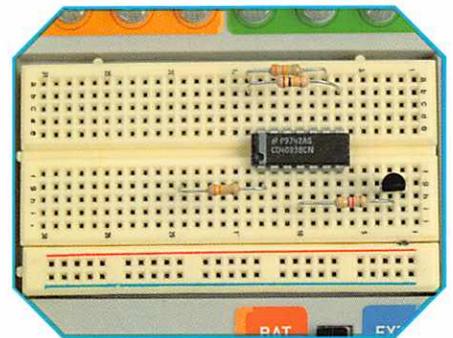
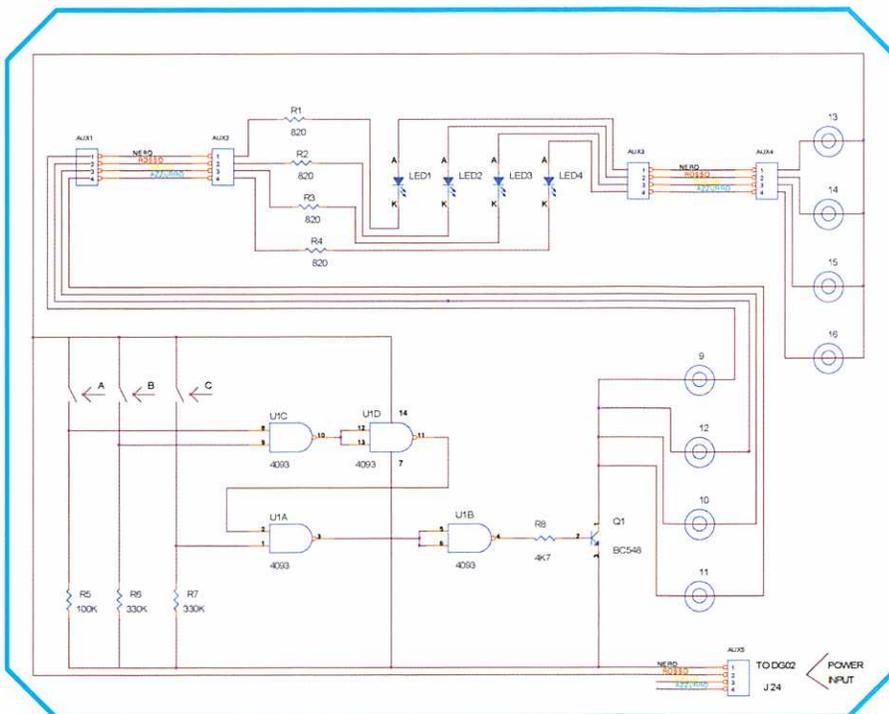
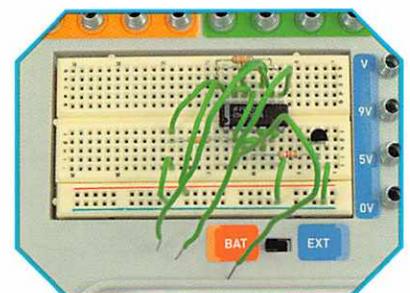
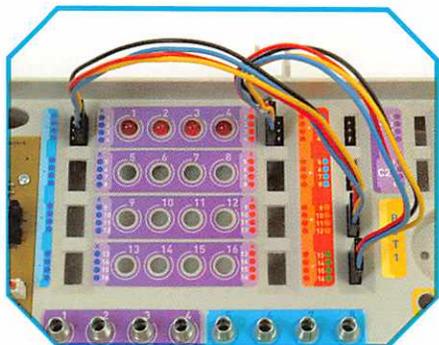
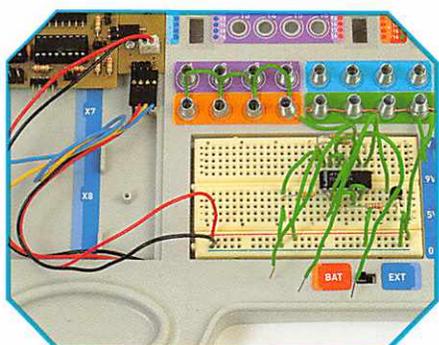
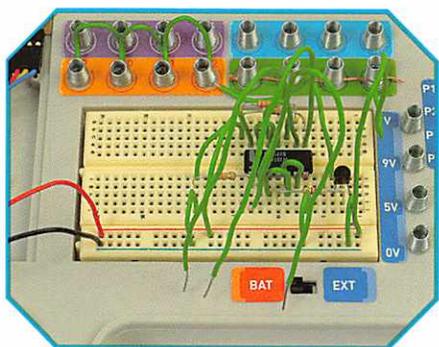
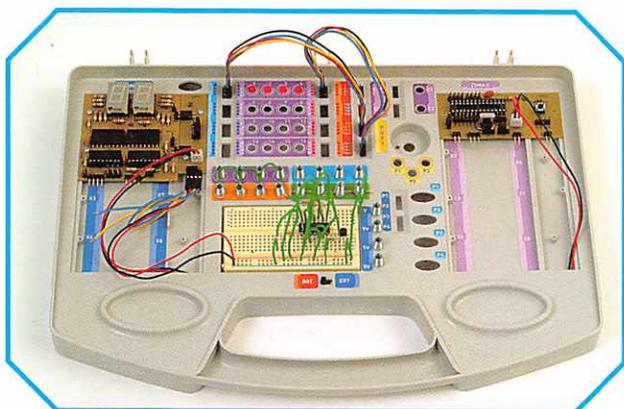
È necessario ricordare che non è molto conveniente caricare troppo l'uscita di una porta logica, dato che la corrente che può fornire è

Componenti utilizzati nella porta AND a tre ingressi.

A	B	C	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabella della verità della porta AND a 3 ingressi.

Porta AND a tre ingressi.

Installazione dei cavi sulla scheda.

Cablaggio dei LED utilizzando i cavetti.

Cablaggio delle molle e dell'alimentazione.

Dettaglio dei collegamenti aperti della porta AND.

Con i tre ingressi a 1 si illuminano tutti i LED.

ridotta. In questo caso si utilizza un transistor come amplificatore di corrente per poter illuminare contemporaneamente i quattro LED, cosa che succede quando l'uscita è a livello alto. L'uscita segue la tabella della verità della porta AND a tre ingressi.

Per quanto riguarda le porte logiche, basta applicare il livello 1 o 0 a ognuno degli ingressi, e verificare come cambiano i segnali attraverso le diverse porte, fino ad arrivare alla fine. Questo procedimento è un poco laborioso ma non presenta alcuna difficoltà. Ad esempio, se applichiamo un 1 ai terminali 8 e 9 ingressi di U1C, all'uscita terminale 10, avremo un livello 0, quindi sul terminale 11 avremo un 1, che si applica al terminale 2 di U1A; se applichiamo un 1 all'altro ingresso, l'uscita di questa porta sarà 0, quindi sul terminale 4 avremo un 1.

Montaggio

Questo montaggio è piuttosto semplice, dato che si semplifica utilizzando i cavetti di collegamento. L'alimentazione si realizza utilizzando un cavetto nel modo abituale, anche se, quando saranno pronte, utilizzeremo le molle 0 e 5 V al posto di questo cavetto.

Prova

La prova del circuito si può eseguire utilizzando le tre connessioni A, B e C per formare tutte le combinazioni possibili della tabella della verità di una porta AND. Possiamo verificare che i LED si illuminano solamente quando i tre ingressi A, B e C sono a livello logico alto, ovvero quando i tre fili sono collegati.

Altro esperimento

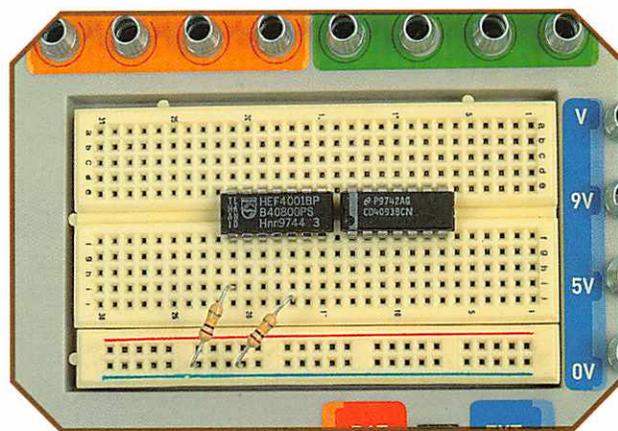
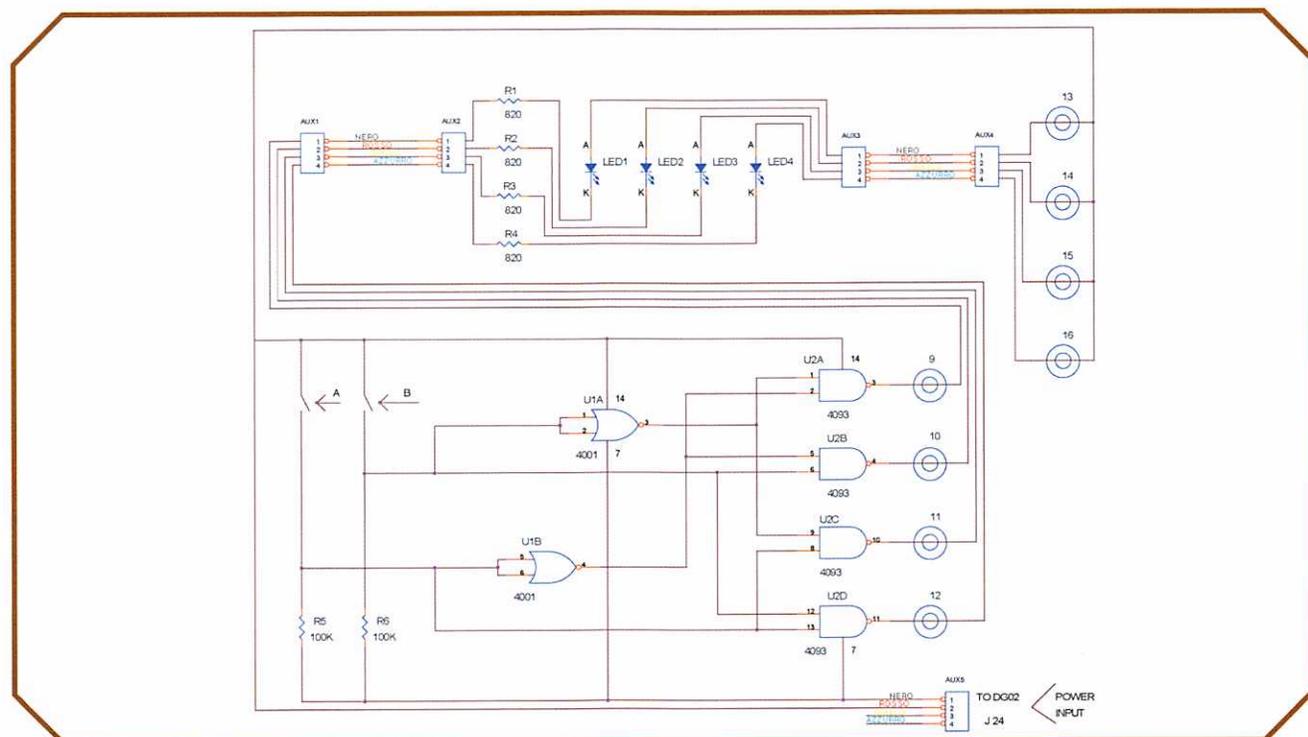
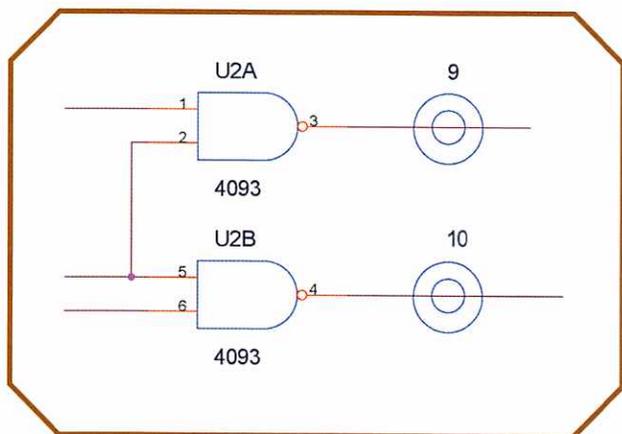
Eseguiamo ora un nuovo esperimento, a questo scopo dobbiamo scollegare la resistenza R8 dal terminale 4 dell'integrato e collegarla al terminale 3, in modo da ottenere la funzione inversa, ovvero una NAND da tre ingressi. In questo caso il LED si spegne solamente quando i tre ingressi sono a livello alto, per qualsiasi altra combinazione i LED si illuminano.

Decodificatore da 2 a 4

Questo esperimento consiste nell'utilizzare le quattro combinazioni che si possono formare con due bit per selezionare una delle quattro uscite.
Ogni bit di ingresso si rappresenta con un collegamento, in totale due collegamenti, indicati come A e B, che rappresentano lo stato logico uno a collegamento eseguito, e lo stato logico zero quando sono scollegati.

Il circuito

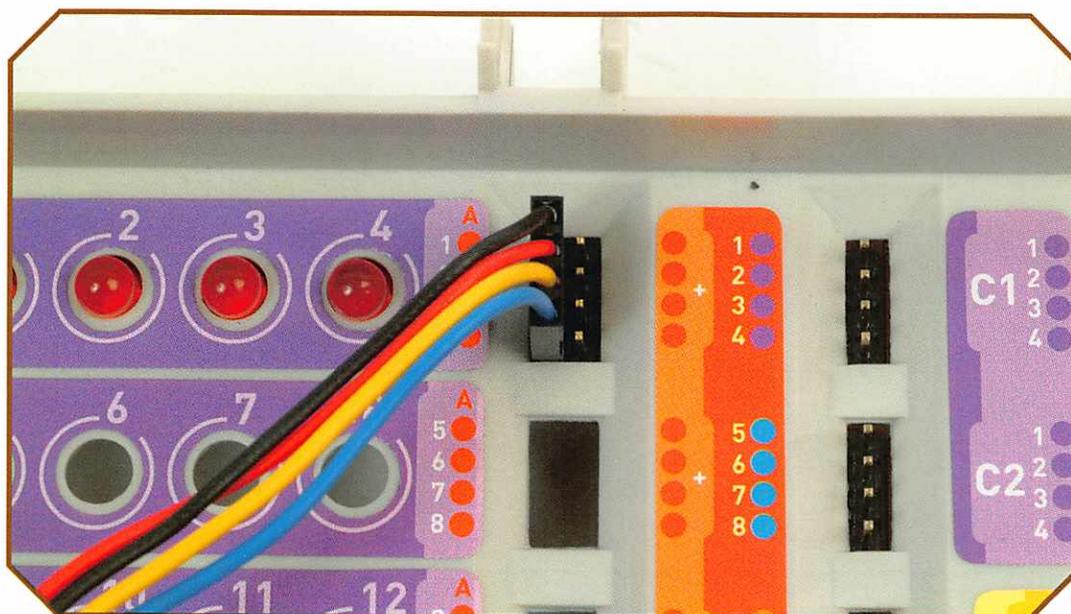
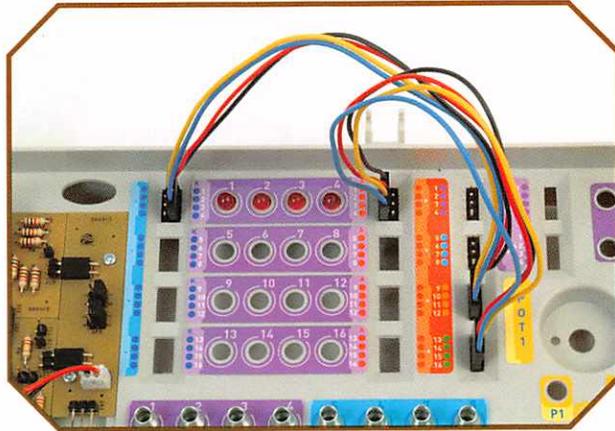
Per capire il funzionamento del circuito faremo riferimento allo schema. A prima vista potrebbe sembrare complicato, però osservando attentamente potremo identificare le parti di cui è composto.

Nella parte bassa dello schema possiamo vedere il cavetto di collegamento che si connette al terminale J24 della scheda DG02; il filo nero si utilizza per il negativo dell'alimentazione e si collega ai terminali 7 di entrambi gli integrati, mentre il positivo, ovvero il filo rosso, è l'alimentazione da 5 V (4,5 V dato che utilizziamo le tre pile).

Componenti montati sulla scheda Bread Board.

Decodificatore da 2 a 4.

Le uscite si collegano direttamente alle molle, che sono raffigurate mediante due circonferenze e il loro numero corrispondente.

Dettaglio ingrandito del collegamento tra i catodi dei LED e il cavetto.

Osservando attentamente vedremo che l'alimentazione da 5 volt, oltre ad alimentare i circuiti integrati, continua verso la parte superiore dello schema e arriva contemporaneamente ai terminali delle molle siglati 13, 14, 15 e 16; questi collegamenti passano nella parte inferiore del pannello frontale del laboratorio e vanno ai terminali del connettore della scheda DG12, anch'essi siglati come 13, 14, 15 e 16. Da questo connettore, con un cavetto terminato in due connettori, si arriva agli anodi dei LED 1, 2, 3 e 4, sul connettore siglato come A 1, 2, 3 e 4.

I quattro LED rappresentati nello schema, così come le quattro resistenze da R1 a R4, da 820 Ω, fanno parte della scheda DG11, quindi non sono riportati sulla lista dei componenti, dato che su questa lista vengono indicati solamente i componenti montati sulla scheda Bread Board.

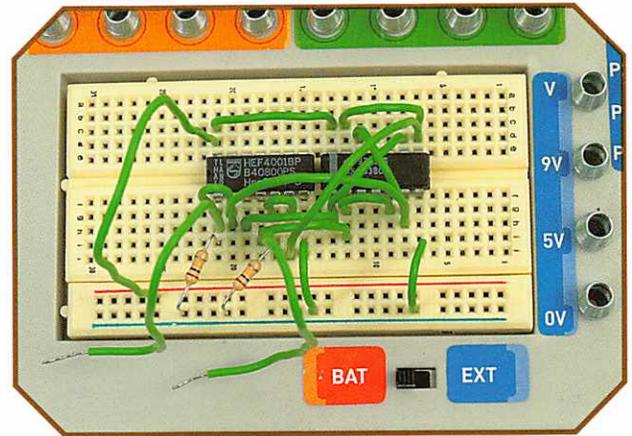
Le resistenze di limitazione dei LED sono collegate al connettore siglato come K 1, 2, 3, 4, da questo connettore giungono ai terminali 9, 10, 11 e 12 della scheda DG12, con un cavetto terminato su due connettori a quattro vie ognuno, si collegano ai terminali 9, 10, 11 e 12 che sono internamente collegati alle molle 9, 10, 11 e 12.

Dettaglio del collegamento degli anodi.

I collegamenti tra i terminali da 1 a 16 e le molle sono permanenti e si realizzano nella parte inferiore del pannello principale del laboratorio.

Ingressi

Gli ingressi al circuito sono rappresentati dai collegamenti A e B. Le resistenze R5 e R6 mantengono l'ingresso del circuito a 0 quando il collegamento è aperto. Quando si realizza il collegamento A o B, si applica un 1 all'ingresso del circuito, in modo che le resistenze R5 e R6 rimangano collegate tra il positivo e il negativo dell'alimentazione consumando poca corrente.

Le quattro combinazioni possibili sono:

A	B	LED illuminato
0	0	LED 1
0	1	LED 2
1	0	LED 3
1	1	LED 4

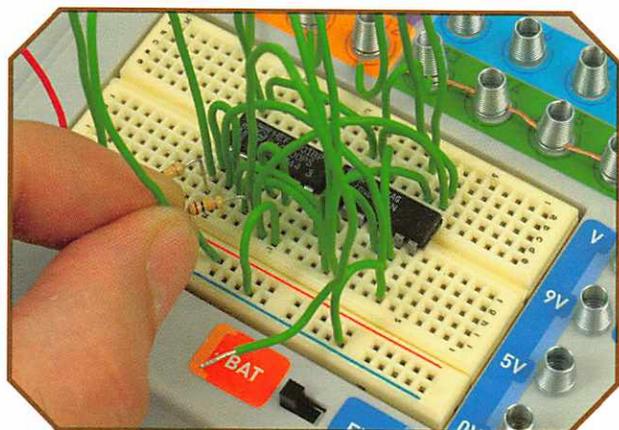
Cablaggio delle molle e alimentazione.

Esperimento con il cablaggio realizzato. I collegamenti A e B sono anch'essi eseguiti con fili.

Montaggio

Il montaggio di questo esperimento presenta alcune innovazioni dato che è già montato il sistema di collegamento ed è anche possibile utilizzare le molle di interconnessione.

Si utilizzano i quattro LED del pannello frontale e i due cavetti di collegamento, come vi è stato indicato, per eseguire le connessioni di questi LED alle molle di interconnessione. Il montaggio dei componenti sulla scheda Bread Board si realizza come da abitudine, seguendo lo schema e aiutandoci con le fotografie.

I collegamenti tra questa scheda e le molle sono realizzati direttamente con un filo spelato su entrambi i lati, è sufficiente inclinare

Con A e B scollegati si accende il LED 1.

Collegando B, con A scollegato, si illumina il LED 2.

Collegando A e B contemporaneamente si illumina il LED 4.

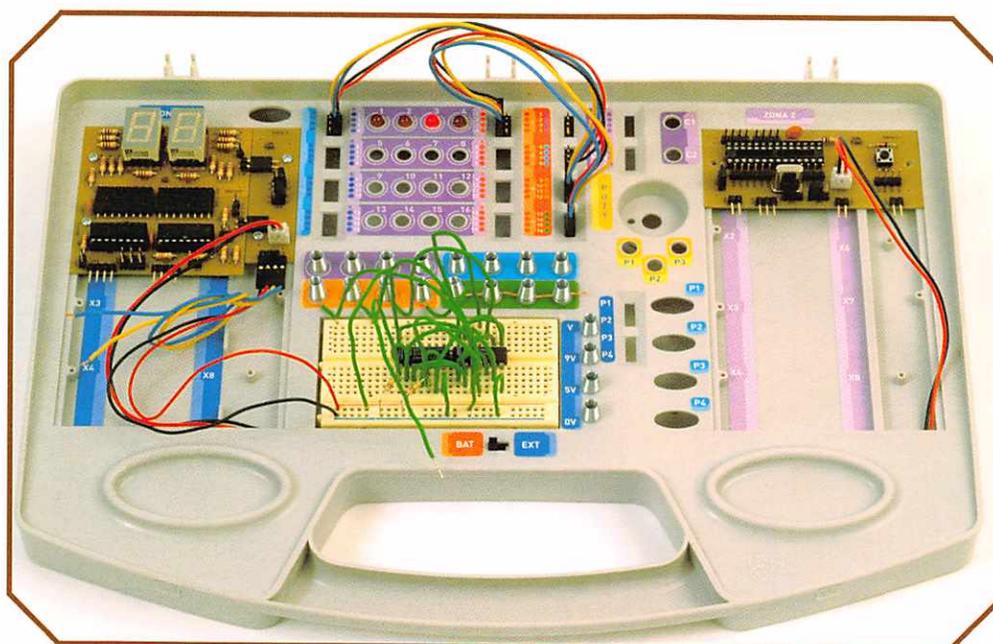
leggermente la molla per far separare le sue spire, inserire l'estremo del filo e rilasciare la molla per fissarlo.

È necessario utilizzare molti fili quindi, per facilitare i collegamenti e verificare la versatilità delle molle nelle connessioni, è stato utilizzato un avanzo di filo senza isolante per unire fra di loro le molle dalla 13 alla 16.

LISTA DEI COMPONENTI

Circuito di base	
U1	Circuito integrato 4001
U2	Circuito integrato 4093
R5, R6	Resistenza 100 K (marrone, nero, giallo)

Prova di funzionamento

Il montaggio di questo circuito risulta laborioso ed è consigliabile verificarlo prima di collegare l'alimentazione, in quanto, anche se si utilizzano pochi componenti, ha molti fili di collegamento. Collegando l'alimentazione i contatti A e B devono essere aperti, ovvero applichiamo la combinazione 00 e si deve illuminare il LED 1, se colleghiamo solamente A si accenderà il LED 3, se colleghiamo solamente B brillerà il LED 2 e se eseguiamo entrambi i collegamenti contemporaneamente si illuminerà il LED 4.

Vista generale del laboratorio con l'esperimento. Con A collegato e B scollegato si illumina il LED 3.

Le memorie EEPROM e FLASH

Le memorie del PIC16F870 danno a questo dispositivo un importante vantaggio rispetto ai suoi concorrenti. Abbiamo visto i concetti generali, però dobbiamo imparare a utilizzarli; a questo scopo dobbiamo entrare nel dettaglio, analizzare i registri che sono coinvolti e come si lavora con essi.

Promemoria

Come abbiamo già detto, il nostro microcontroller lavora con tre tipi di memoria: una memoria delle istruzioni FLASH e due memorie dei dati, una RAM e una EEPROM.

- Memoria di istruzioni FLASH. In essa si scrive il programma dell'applicazione, il codice del programma. È costruita con tecnologia FLASH.

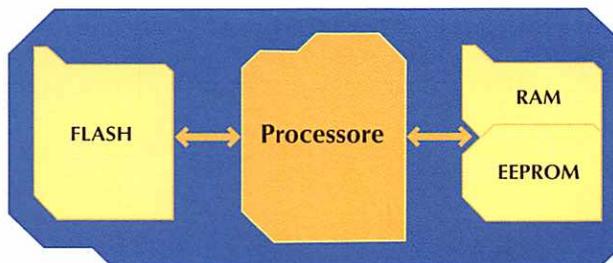
- Memoria dei dati RAM. Contiene i dati del programma e i registri di controllo. È di tipo RAM, molto veloce e volatile.

- Memoria dei dati EEPROM. Contiene i dati che devono rimanere in memoria anche togliendo l'alimentazione. È una memoria non volatile che si può leggere, scrivere, cancellare e riscrivere circa 1 milione di volte.

Modi di indirizzamento dei dati

Le istruzioni dei PIC16F870 possono specificare i dati e gli operandi mediante tre modi di indirizzamento:

- Immediato: il valore del dato è contenuto nel codice OP dell'istruzione e, nell'esecuzione, si carica nel registro W per la sua successiva elaborazione.

- Diretto: si utilizzano i 7 bit meno significativi del codice OP dell'istruzione per puntare a una qualsiasi delle 128 posizioni del banco 0. Per la scelta del banco si utilizzano i bit 6 e 5 del registro STATUS, che si chiamano RP1 e RP0.

Le tre memorie del PIC16F870.

PIC16F870		
MEMORIA DEL PROGRAMMA	2K x 14 words	FLASH
MEMORIA DEI DATI	128 x 8 byte	RAM
	64 x 8 byte	EEPROM

Capacità delle memorie del microcontroller.

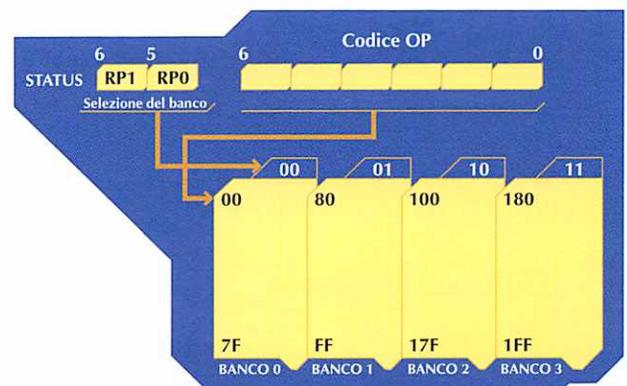
- Indiretto: si utilizza come operando il registro INDF, che occupa l'indirizzo 0 in tutti i banchi. In questo caso si accede all'indirizzo puntato dal contenuto del registro FSR, situato all'indirizzo 4 dei banchi di memoria.

Il registro INDF non è implementato fisicamente, quindi ogni volta che si fa riferimento a esso si utilizza il contenuto del registro INDF per indirizzare l'operando.

La memoria EEPROM

Lo spazio della memoria EEPROM è uno spazio di memoria indipendente, che non è mappato all'interno della zona di memoria dei dati RAM, e il cui indirizzamento è particolare.

La memoria EEPROM è formata da 64 byte, posti dall'indirizzo 00h all'indirizzo 3Fh, che possono essere letti o scritti.

Per lavorare con questa memoria dobbiamo gestire i registri indicati nella tabella e che analizzeremo di seguito.

Indirizzamento diretto.

EEADR	10Dh	Indirizzo della EEPROM
EEADRH	10Fh	Parte alta dell'indirizzo di accesso alla memoria FLASH
EEDATA	10Ch	Dato contenuto nell'indirizzo della EEPROM
EEDATH	10Eh	Parte alta del contenuto quando si accede alla FLASH
EECON1	18Ch	Registro di controllo 1
EECON2	18Dh	Registro di controllo 2

Registri coinvolti nella gestione della memoria.

Struttura della EEPROM del PIC16F870.

Struttura della EEPROM

Il registro EEADR contiene gli indirizzi della memoria EEPROM a cui vogliamo accedere; i registri di controllo ci indicano le operazioni da realizzare su di essa e il registro EEDATA conterrà il dato situato nell'indirizzo in caso di lettura o il dato che si vuole memorizzare quando si scrive.

Dato che l'indirizzo più alto è 3Fh e il dato contenuto è da 8 bit, sono sufficienti i registri EEADR e EEDATA. Questo non basta invece per la memoria FLASH, poiché sia gli indirizzi sia i dati sono più grandi di 8 bit, quindi sono necessari due registri per indicare l'indirizzo e altri due per contenere il dato (utilizzeremo EEADR e EEADRH per l'indirizzo, EEDATA e EEDATH per il dato).

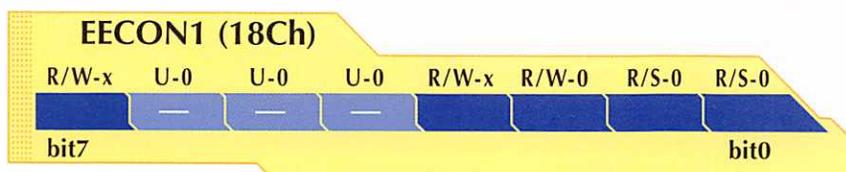
Registri di controllo per la gestione della EEPROM

Per lavorare con la memoria EEPROM dobbiamo specificare che azione desideriamo eseguire con la memoria. Per gestire il comportamento e l'operatività di quest'ultima utilizziamo i registri EECON1 e EECON2. il registro EECON2 non è implementato realmente, però si utilizza per assicurare la sequenza delle operazioni di scrittura nella EEPROM.

Il fattore tempo è molto critico nell'operazione di scrittura di questa memoria, in quanto può durare circa 2 millisecondi, tempo molto lungo per un PIC. Dato che dipende da fattori quali la tensione di alimentazione, la temperatura di lavoro, ecc., e che il tempo è elevato, si controlla il momento in cui termina questa operazione mediante il flag EEIF, che si attiverà al termine dell'operazione di scrittura.

Il registro EECON2, che non è implementato fisicamente, viene caricato con il valore 55h e dopo con il valore AAh, prima di iniziare un'operazione di scrittura, secondo le direttive dello stesso costruttore.

Nella tabella della figura possiamo vedere il registro EECON1 analizzato nei bit che lo compongono. Durante l'inizializzazione del controller viene disabilitata la scrittura dei dati nella EEPROM. Questa operazione dura 72 millisecondi e coinvolge nello stesso modo la scrittura della memoria FLASH. Il flag che controlla questa operazione è il WRT della Parola di Configurazione. Il bit WREN si utilizza per abilitare l'opzione di scrittura, evitando in questo modo scritture indesiderate. Dobbiamo abilitarlo per eseguire la scrittura.

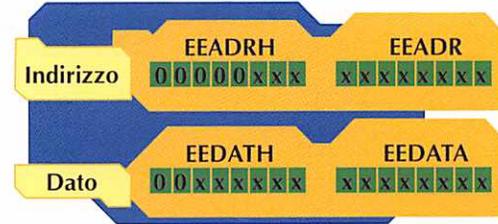
Il bit WRERR indica, con il suo passaggio a 1, che si è generato un errore di scrittura, normale conseguenza della mancanza del tempo necessario per realizzare questa operazione a causa di un reset o dell'owerflow del Watchdog. Nella figura possiamo vedere un esempio

Struttura interna del registro di controllo EECON1.

EECON1			
EEPGD	Bit 7	0	Accesso alla EEPROM
		1	Accesso alla FLASH
--------	Bit 6-4		Non implementati
WRERR	Bit 3	0	Non si è verificato errore nella scrittura
		1	C'è un errore nella scrittura, per mancanza del tempo necessario
WREN	Bit 2	0	Disabilita l'opzione di scrittura sulla EEPROM
		1	Bit di abilitazione di scrittura Lo dobbiamo impostare a 1 all'inizio di questa
WR	Bit 1	0	Valore che assume automaticamente al termine dell'operazione di scrittura
		1	Dobbiamo impostarlo a 1 per iniziare un'operazione di scrittura
RD	Bit 0	0	Non inizia un'operazione di lettura
		1	Dobbiamo impostarlo a 1 per iniziare un'operazione di lettura

Utilità dei bit del registro EECON1.

di programma in cui si esegue la scrittura nella memoria EEPROM.

L'interrupt della EEPROM

Per abilitare l'interrupt di fine scrittura nella EEPROM dobbiamo aver attivato il bit di abilitazione globale di interrupt GIE, il bit di abilitazione per i dispositivi ausiliari PEIE e il proprio bit di abilitazione di interrupt per questa azione, EEIE. Questo bit si trova sul registro PIE2, mentre nel registro PIR2 troviamo il bit di flag di fine scrittura nella EEPROM, bit EEIF.

Registri che contengono il dato e l'indirizzo della memoria FLASH.

La memoria FLASH

La memoria FLASH contiene il codice di un programma, però, se nel corso di un programma si generano dinamicamente delle informazioni che devono essere memorizzate nella FLASH, permette di farlo senza ricorrere a programmatori esterni. Questo offre due importanti vantaggi: poter riprogrammare l'applicazione in base alle condizioni esterne e ampliare la memoria dei dati non volatili occupando indirizzi della FLASH.

I dati che si scrivono in questa memoria han-

```
bsf     STATUS,RP1      ;Selezioniamo il banco 2 della memoria RAM
bcf     STATUS,RP0
movf    INDIRIZZO,W     ;Carichiamo l'indirizzo sul registro di lavoro
movwf   EEADR           ;Passiamo l'indirizzo al registro EEADR
movf    DATO,W          ;Carichiamo il dato sul registro di lavoro
movwf   EEDATA          ;Lo passiamo al registro EEDATA
bsf     STATUS,RP0      ;Selezioniamo il banco 3 della RAM
bcf     EECON1,EEPGD    ;Selezioniamo di accedere alla EEPROM
bsf     EECON1,WREN     ;Abilitiamo la scrittura nella EEPROM
bcf     INTCON,GIE      ;Proibiamo tutti gli interrupt
movlw   55h             ;Carichiamo questo valore sul registro W
movwf   EECON2          ;Lo passiamo su EECON2
movlw   AAh             ;Carichiamo questo valore sul registro W
movwf   EECON2          ;Lo passiamo su EECON2
bsf     EECON1,WR       ;Ordine di inizio della scrittura
bsf     INTCON,GIE      ;Abilitiamo gli interrupt (PEIE=EEIE=1)
sleep                   ;Entriamo in stato di riposo fino all'interrupt della
                         EEPROM
bcf     EECON1,EEIF     ;Cancelliamo il flag prodotto dall'interrupt
bcf     EECON1,WREN     ;Disabilitiamo la scrittura
```

Programma in cui si esegue una scrittura nella memoria

```
bsf      STATUS,RP1      ;Selezioniamo in banco 2 della memoria RAM
bcf      STATUS,RP0
movf     INDIRIZZO_H,W   ;Carichiamo la parte alta dell'indirizzo su W
movwf    EEADRH          ;Lo spostiamo dal registro W al registro EEADRH
movf     INDIRIZZO_L,W   ;Carichiamo la parte bassa dell'indirizzo su W
movwf    EEADR           ;Lo spostiamo dal registro W al registro EEADR
movf     DATO_H,W        ;Carichiamo la parte alta del dato sul registro di lavoro
movwf    EEDATH          ;La spostiamo sul registro EEDATH
movf     DATO_L,W        ;Carichiamo la parte bassa del dato sul registro di lavoro
movwf    EEDATA          ;La spostiamo sul registro EEDATA
bsf      STATUS,RP0      ;Selezioniamo il banco 3 della RAM
bsf      EECON1,EEPGD    ;Scegliamo di accedere alla FLASH
bsf      EECON1,WREN     ;Abilitiamo la scrittura nella FLASH
bcf      INTCON,GIE      ;Disabilitiamo tutti gli interrupt
movlw    55h             ;Carichiamo questo valore sul registro W
movwf    EECON2          ;Lo spostiamo su EECON2
movlw    AAh             ;Carichiamo questo valore sul registro W
movwf    EECON2          ;Lo spostiamo su EECON2
bsf      EECON1,WR       ;Ordine di inizio della scrittura (impiega 3 cicli)
nop                      ;Questa istruzione non esegue niente
nop
bsf      INTCON,GIE      ;Abilitiamo gli interrupt (PEIE=EEIE=1)
bcf      EECON1,WREN     ;Disabilitiamo le scritture
```

Programma in cui si scrive nella memoria FLASH.

no una lunghezza di 14 bit, quindi, oltre al registro EEDATA, possiamo utilizzare anche EEDATH, per contenere i bit più significativi del dato. La stessa cosa accade con gli indirizzi, dato che nel PIC16F870 abbiamo una capacità di memoria FLASH da 2Kx14, quindi per indirizzare correttamente sono necessari due registri, EEADR e EEADRH.

CP1	CP0	WRT	Indirizzi della FLASH	Lettura interna	Scrittura interna	Lettura ICSP	Scrittura ICSP
0	0	X	Tutta la memoria del programma	Sì	No	No	No
0	1	0	Aree non protette	Sì	No	Sì	No
0	1	0	Aree protette	Sì	No	No	No
0	1	1	Aree non protette	Sì	Sì	Sì	No
0	1	1	Aree protette	Sì	No	No	No
1	0	0	Aree non protette	Sì	No	Sí	No
1	0	0	Aree protette	Sì	No	No	No
1	0	1	Aree non protette	Sì	Sì	Sì	No
1	0	1	Aree protette	Sì	No	No	No
1	1	0	Tutta la memoria del programma	Sì	No	Sì	Sì
1	1	1	Tutta la memoria del programma	Sì	Sì	Sì	Sì
* ICSP è un modo di programmazione							

Opzioni di protezione della memoria FLASH.

Lettura e scrittura della memoria FLASH

Per realizzare la gestione delle operazioni di scrittura-lettura in questa memoria utilizziamo gli stessi registri della EEPROM, EECON1 e EECON2, impostando, in questo caso, il registro EEPGD a 1. I processi di lettura e scrittura in questa memoria sono molto simili a quello della EEPROM, anche se, per evitare qualsiasi dubbio, nella figura è riportato un esempio di programma in cui si scrive nella memoria FLASH.

Protezione della memoria FLASH verso scrittura e lettura

Combinando i possibili valori del bit WRT e quelli dei bit CP1 e CP0 della Parola di Configurazione, otterremo diverse alternative per proteggere la memoria FLASH da operazioni di lettura e scrittura. Nella tabella a fianco sono riportate le diverse configurazioni.